螟黄足盘绒茧蜂复合群支序系统学研究
（膜翅目：茧蜂科：小腹茧蜂亚科）

李志文，游兰韶*，罗庆怀，柏连阳，曾爱平

（湖南农业大学植物保护学院，长沙　410128）

摘要：对螟黄足盘绒茧蜂复合群 *Cotesia flavipes* complex（膜翅目：茧蜂科：小腹茧蜂亚科）分布全世界的5个种和外群侧沟茧蜂 *Microplitis* 及获茧蜂 *Diolcogaster* 的25个性状，以及复合群5个种和外群螟蛉盘绒茧蜂 *Cotesia ruficrus*、粘虫盘绒茧蜂 *Cotesia kariyai*、粉蝶盘绒茧蜂 *Cotesia glomerata* 的24个性状，分别进行比较研究，并运用支序分析的方法探讨该复合群内5个种种间的系统发育关系。支序分析表明螟黄足盘绒茧蜂复合群是一单系群，二化螟盘绒茧蜂 *C*. *chilonis* 和大螟盘绒茧蜂 *C*. *sesamiae* 近缘，芦螟盘绒茧蜂 *C*. *chiloluteelli* 和汉寿盘绒茧蜂 *C*. *hanshouensis* 近缘，螟黄足盘绒茧蜂 *C*. *flavipes* 相对独立。以上研究表明无论是以近缘属作外群还是以同属其它种作外群，所得结果基本上都能反映螟黄足盘绒茧蜂复合群各种之间的分类地位。

关键词：膜翅目；茧蜂科；小腹茧蜂亚科；盘绒茧蜂属；螟黄足盘绒茧蜂复合群；系统发育；支序分析

中图分类号：Q969　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2004)02-0253-07

Phylogenetic relationships among the *Cotesia flavipes* complex (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae) based on cladistic analysis

LI Zhi-Wen, YOU Lan-Shao*, LUO Qing-Huai, BAI Lian-Yang, ZENG Ai-Ping (College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Based on morphological studies, 25 characters of 5 species of *Cotesia flavipes* complex (as ingroup) and two genera *Microplitis* and *Diolcogaster* (as outgroup), and 24 characters of 5 species of *Cotesia flavipes* complex (as ingroup) and 3 species of the same genera (outgroup) were separately selected for cladistic analysis in an attempt to assess the phylogenetic relationships among the *Cotesia flavipes* complex. The results of cladistic analysis indicate that *C*. *flavipes* complex are a monophyletic group; *C*. *chilonis* and *C*. *sesamiae* are more closely related compared with other 3 species; *C*. *chiloluteelli* and *C*. *hanshouensis* is closely related with one another; *C*. *flavipes* is recognized as the independent placement. Whether using the related genera as outgroup or the congeneric species as outgroup in the cladistic analysis, the basically same scheme for classification of the five species of *Cotesia flavipes* complex was concluded.

Key words: Hymenoptera; Braconidae; Microgastrinae; *Cotesia*; *Cotesia flavipes* complex; phylogeny; cladistic analysis

螟黄足盘绒茧蜂复合群 *Cotesia flavipes* complex（= *Apanteles flavipes* complex，茧蜂科：小腹茧蜂亚科）的种类都是容性寄生蜂(Koinobiont)，是鳞翅目幼虫的聚集性内寄生蜂。此复合群的特点是头部横置，立方形，颜面稍隆起，雌蜂触角粗短，明显短于体长，雄性触角正常，稍长于体长；胸部背腹面扁平，中胸盾片、小盾片、后胸及并胸腹节多在一个平面上；腹部第一节背板端部宽于基部，产卵器短，均寄生钻蛀禾本科作物的鳞翅目幼虫(Watanabe, 1965)。此复合群包括有5种，它们是：芦螟盘绒茧蜂 *C*. *chiloluteelli* You, Xiong *et* Wang（游兰韶等，1985），中国；二化螟盘绒茧蜂 *C*. *chilonis* (Munakata)(Watanabe, 1965)，中国、日本；螟黄足盘绒茧蜂 *C*. *flavipes* Cameron (Watanabe, 1965)，中国、印度、马来西亚、斯里兰卡、缅甸、爪哇、巴基斯坦、澳大利亚；汉寿盘绒茧蜂 *C*. *hanshouensis* You *et* Xiong（游兰韶和

作者简介：李志文，男，1976年8月生，湖南常宁人，硕士，主要从事昆虫分类学研究

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: haudpp@public.cs.hn.cn

收稿日期 Received: 2003-05-06; 接受日期 Accepted: 2004-01-13

熊漱琳，1983），中国；大螟盘绒茧蜂 *C. sesamiae* Cameron（Watanabe，1965），南非、约旦、乌干达、肯尼亚、刚果、喀麦隆、莫桑比克、塞内加尔。多年来，此复合群的有些种已输入或释放到 40 多个国家用于生物防治。由于此复合群的种类形态极其相近，引入到一个地区后，易与本地种混淆，要评价其作用，感到困难（Smith and Kambhampati，1999）。

国外自 20 世纪 30 年代至今，只使用此复合群的二化螟盘绒茧蜂、螟黄足盘绒茧蜂和大螟盘绒茧蜂 3 个种进行形态学研究（包括雄性外生殖器）（Ullyett，1935；Watanabe，1965；Polaszek and Walker，1991；Walker，1994；Kimani-Njogu *et al*.，1997），交尾试验研究（Kimani and Overholt，1995），线粒体 16S 核糖体 rRNA 和 NADH 1 脱氢酶基因序列研究（Smith and Kambhampati，1999），试图进一步了解这 3 个种之间的关系。为完善此复合群的研究，我们使用螟黄足盘绒茧蜂复合群分布全世界的 5 个种，用支序分析方法，探讨螟黄足盘绒茧蜂复合群的单系群性质，及其 5 个种之间的亲缘关系，以便为在生产实际中使用此复合群打下基础。

1 材料与方法

1.1 茧蜂标本

研究采用的标本包括：芦螟盘绒茧蜂（15 头，芦螟、棘禾草螟育出，芦苇，湖南汉寿），二化螟盘绒茧蜂（15 头，二化螟育出，水稻，湖南长沙），螟黄足盘绒茧蜂（8 头，大螟、蔗二点螟育出，水稻、甘蔗，湖南长沙、岳阳），汉寿盘绒茧蜂（15 头，荻蛀茎夜蛾 *Sesamia* sp.育出，芦苇，湖南汉寿），大螟盘绒茧蜂（5 头，非洲肯尼亚），粘虫盘绒茧蜂 *Cotesia kariyai*（Watanabe）（10 头，粘虫育出，麦田，辽宁庄河），螟蛉盘绒茧蜂 *C. ruficrus*（Haliday）（10 头，稻螟蛉育出，水稻，湖南长沙），粉蝶盘绒茧蜂 *C. glomerata*（Linnaeus）（6 头，菜粉蝶育出，菜地，湖南零陵），斑螟荻茧蜂 *Diolcogaster spretus*（Marshll）（3 头，球果松梢螟育出，林地，陕西），载侧沟茧蜂 *Microplitis gerula* Papp（3 头，匈牙利）。以上均为湖南农业大学昆虫学教研室馆藏标本。

1.2 形态学性状的支序系统学方法

1.2.1 内群的选择：将研究对象芦螟盘绒茧蜂、二化螟盘绒茧蜂、螟黄足盘绒茧蜂、汉寿盘绒茧蜂、和大螟盘绒茧蜂作为内群。

1.2.2 性状分析：按以下步骤进行：（1）选择性状和描述性状：根据外群与内群的形态学关系来选取性状。使用两种方法来选择外群，一种是选择内群的近缘属侧沟茧蜂属，荻茧蜂属作为外群，为了更直观地看出研究对象的亲缘关系，我们增加螟蛉盘绒茧蜂、粘虫盘绒茧蜂和粉蝶盘绒茧蜂作为内群；另一种是选择与内群同属的螟蛉盘绒茧蜂、粘虫盘绒茧蜂和粉蝶盘绒茧蜂作外群。前一种选择了 25 个形态学性状，共计 55 个性状状态；后一种选择了 24 个形态学性状，共计 49 个性状状态。性状分别用"a"、"b"和"c"编码，见表 1 和表 2。（2）性状论证：采用外群分析的方法。对于二态性状，根据共同即为原始的二性状分布频率分析法（Twice Character Frequency Analysis，TCTA）（黄大卫，1996），进行性状论证，确定性状极向；对于三态性状，参考 Maddison 等（1984）的外群分析方法，确定性状极向。

1.2.3 软件分析：采用 Hennig86 支序分析软件。该程序的分析方法是 Wanger Farris 数学分析法，是 Farris（1988）根据支序分类学原则设计的，将数据分析结果按严格的单系原则绘制成反映各分类单元间谱系关系的分支图，并按简约性原则来确定，绘制出最可能的支序图，同时给出树长 L、一致性指数 C_i、稳定指数 R_i 三个参数值。

表 1 使用近缘属作外群的性状的描述和编码
Table 1 Characters and character coding using the related genera as outgroup

性状 Characters	性状状态 Character state	性状状态编码 Character state coding
1	头部立方形	a
	头部非立方形	b
2	颜面和颊具皱纹刻点	a
	颜面和颊具分散刻点（点状）	b
3	头部正面观密生柔毛	a
	头部正面观无柔毛或很少	b
4	后单眼到复眼距离与两后单眼之间距离的比≤1	a
	1 < 后单眼到复眼距离与两后单眼之间距离的比≤1.5	b
	后单眼到复眼距离与两后单眼之间距离的比 < 1.5	c
5	两后单眼距离与后单眼到前单眼距离的比 > 3	a
	1 < 两后单眼距离与后单眼到前单眼距离的比≤3	b
	两后单眼距离与后单眼到前单眼距离的比≤1	c

续表 1 Table 1 (continued)

性状 Characters	性状状态 Character state	性状状态编码 Character state coding
6	触角长于头胸之和	a
	触角短于头胸之和	b
7	触角端前节长大于宽	a
	触角端前节略等于宽	b
8	前胸背板有沟	a
	前胸背板无沟	b
9	中胸小盾沟内具脊	a
	中胸小盾沟内不具脊	b
10	中胸小盾片刻点密集	a
	中胸小盾片刻点稀疏或无刻点	b
11	中胸侧板前段刻点密集	a
	中胸侧板前段只有少数分散刻点或光滑	b
12	胸腹扁平	a
	胸腹非扁平	b
13	并胸腹节具皱纹刻点	a
	并胸腹节具细小刻点	b
14	后足基节具皱纹刻点	a
	后足基节具点状刻点	b
15	后足基节基部带黑色	a
	后足基节基部呈红黄色	b
16	前翅痣后脉长为径室端部至痣后脉端部距离的倍数 < 3	a
	前翅痣后脉长为径室端部至痣后脉端部距离的倍数略等于 3	b
17	腹部第一节背板在端部收缩或不加宽	a
	腹部第一节背板在端部逐渐加宽，两端角不圆（尖）	b
	腹部第一节背板在端部逐渐加宽，两端角圆	c
18	腹部第二节背板长 > 腹部第三节背板的长	a
	腹部第二节背板长 = 腹部第三节背板的长	b
	腹部第二节背板长 < 腹部第三节背板的长	c
19	腹部第二背板有皱纹刻点	a
	腹部第二背板只有点状刻点	b
20	抱器背突端齿数 > 2	a
	抱器背突端齿数 ≤ 2	b
21	抱器背突腹缘直或微凸，绝不强凸	a
	抱器背突腹缘微凸或强凸	b
22	阳茎基腹铗刚毛数 ≤ 7	a
	阳茎基腹铗刚毛数 > 7	b
23	抱器背突与阳茎基腹铗相对长 ≥ 0.35 mm	a
	抱器背突与阳茎基腹铗相对长 < 0.35 mm	b
24	阳茎端超出阳茎基侧突长 ≥ 0.04 mm	a
	阳茎端超出阳茎基侧突长 < 0.04 mm	b
25	阳茎端端部平截状	a
	阳茎端端部圆	b
	阳茎端端部尖	c

注 Notes：以侧沟茧蜂 *Microplitis* 和获茧蜂 *Diolcogaster* 为外群 Using *Microplitis* and *Diolcogaster* as outgroup.

表 2　使用同属种作外群的性状的描述和编码

Table 2　Characters and character coding using the congeneric species as outgroup

性状 Characters	性状状态 Character state	性状状态编码 Character state coding
1	头部立方形或稍立方形	a
	头部非立方形	b
2	颜面和颊有皱纹刻点	a
	颜面和颊有点状刻点	b
3	头部正面观密生柔毛	a
	头部正面观无柔毛或很少	b
4	后单眼到复眼距离与两后单眼之间距离的比 ≤ 1.5	a
	后单眼到复眼距离与两后单眼之间距离的比 > 1.5	b
5	两后单眼距离与后单眼到前单眼距离的比 > 2	a
	两后单眼距离与后单眼到前单眼距离的比 ≤ 2	b
6	触角长于头胸之和	a
	触角短于头胸之和	b
7	触角端前节长大于宽	a
	触角端前节长略等于宽	b
8	前胸背板有沟	a
	前胸背板无沟	b

续表 2 Table 2 (continued)

性状 Characters	性状状态 Character state	性状状态编码 Character state coding
9	中胸小盾沟内具脊	a
	中胸小盾沟内部具脊	b
10	中胸小盾片刻点密集	a
	中胸小盾片刻点稀疏或无刻点	b
11	中胸侧板前段刻点密集	a
	中胸侧板前段只有少数分散刻点或光滑	b
12	胸腹扁平	a
	胸腹非扁平	b
13	并胸腹节具皱纹刻点	a
	并胸腹节具细小点状刻点	b
14	后足基节具皱纹刻点	a
	后足基节具点状刻点	b
15	后足基节基部带黑色	a
	后足基节基部呈红黄色	b
16	腹部第一背板两端角圆	a
	腹部第一背板两端角尖	b
17	腹部第二背板的长 > 腹部第三背板的长	a
	腹部第二背板的长 ≤ 腹部第三背板的长	b
18	腹部第二背板有皱纹刻点	a
	腹部第二背板只有刻点	b
19	抱器背突端齿数 > 2	a
	抱器背突端齿数 ≤ 2	b
20	抱器背突腹缘直或微凸,绝不强凸	a
	抱器背突腹缘微凸或强凸	b
21	阳茎基腹铗刚毛数 ≤ 7	a
	抱器背突刚毛数 > 7	b
22	抱器背突与阳茎基腹铗相对长 ≥ 0.35 mm	a
	抱器背突与阳茎基腹铗相对长 < 0.35 mm	b
23	阳茎端超出阳茎基侧突长 ≥ 0.04 mm	a
	阳茎端超出阳茎基侧突长 < 0.04 mm	b
24	阳茎端端部平截状	a
	阳茎端端部圆	b
	阳茎端端部尖	c

注 Notes: 以螟蛉盘绒茧蜂 *C. ruficrus*、粘虫盘绒茧蜂 *C. kariyai* 和粉蝶盘绒茧蜂 *C. glomerata* 为外群 Using *C. ruficrus*, *C. kariyai* and *C. glomerata* as outgroup.

2 结果

2.1 螟黄足盘绒茧蜂复合群形态学性状的论证结果

内群和外群的性状描述见表 3 和表 4。应用外群比较法逐一对所选取的形态学性状进行论证,确定近祖性状和近裔性状,结果见表 5 和表 6。其中“0”代表近祖性状,“1”、“2”代表近裔性状。

2.2 支序图

用“ie;”指令分别分析数据矩阵,由表 5 数据矩阵分析得到 3 个支序图(图 1 ~ 3),其参数值分别为“$L = 40$; $C_i = 0.75$; $R_i = 0.83$”;由表 6 数据矩阵分析得到 1 个支序图(图 4),其参数值分别为“$L = 31$; $C_i = 0.80$; $R_i = 0.80$”。用“nelsen”指令分析数据矩阵获得合意树,由表 5 分析产生的合意树见图 3,由表 6 分析产生的合意树见图 4。

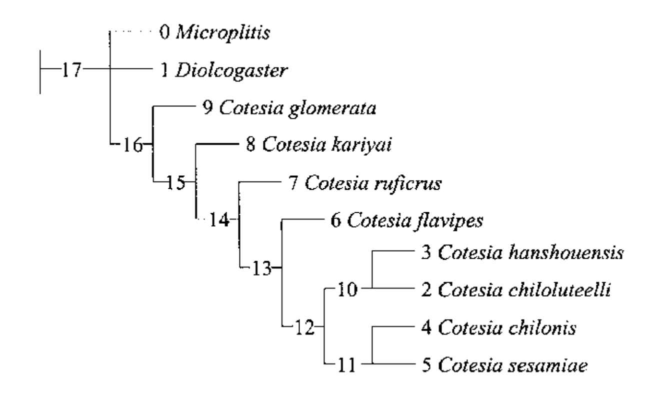


图 1 系统发育支序图($L = 40$, $C_i = 0.75$, $R_i = 0.83$)

Fig. 1 Phylogenetic cladogram($L = 40$, $C_i = 0.75$, $R_i = 0.83$)

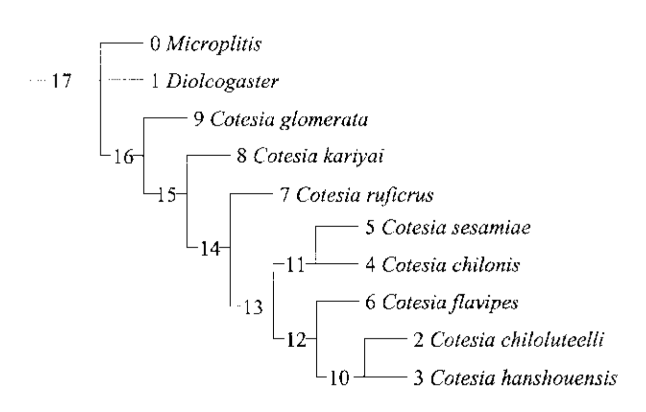


图 2 系统发育支序图($L = 40$, $C_i = 0.75$, $R_i = 0.83$)

Fig. 2 Phylogenetic cladogram($L = 40$, $C_i = 0.75$, $R_i = 0.83$)

表 3 使用近缘属作外群的螟黄足绒茧蜂复合群及外群的性状描述

Table 3 Characters of *Cotesia flavipes* complex and outgroup using the related genera as outgroup

分类单元 Taxa	性状编码 Character coding																								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Microplitis	b	a	b	a	a	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	a	a	a	b	a	b	a	a	a	a
Diolcogaster	b	a	b	a	a	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	a	a	a	b	b	b	a	a	a	a
C. chiloluteelli	a	b	a	b	b	b	b	b	a	b	a	a	b	a	a	b	c	a	b	b	a	b	a	a	b
C. hanshouensis	a	b	a	b	b	b	b	b	a	b	a	a	b	a	a	b	c	c	a	b	a	b	a	a	b
C. chilonis	a	b	b	b	b	b	b	a	a	b	b	a	b	b	a	b	c	b	a	b	a	b	a	a	c
C. sesamiae	a	b	b	b	c	b	b	b	a	b	b	a	b	b	a	b	c	b	a	b	a	b	a	a	c
C. flavipes	a	b	b	c	b	b	b	b	b	b	b	a	b	b	b	b	c	c	b	b	b	a	b	b	a
C. ruficrus	b	a	b	a	b	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	b	b	b	a	b	a	b	a	a	b
C. kariyai	b	a	b	b	a	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	b	b	b	b	a	a	b	a	a	b
C. glomerata	b	a	b	c	a	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	b	b	a	b	a	a	a	a	a	b

注 Notes：以侧沟茧蜂 *Microplitis* 和荻茧蜂 *Diolcogaster* 为外群 Using *Microplitis* and *Diolcogaster* as outgroup.

表 4 使用同属种作外群的螟黄足绒茧蜂复合群及外群的性状描述

Table 4 Characters of *Cotesia flavipes* complex and outgroup using the congeneric species as outgroup

分类单元 Taxa	性状编码 Character coding																							
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
C. ruficrus	b	a	b	a	b	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	b	b	a	b	a	b	a	a	b
C. kariyai	b	a	b	a	a	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	b	b	b	a	a	b	a	a	b
C. glomerata	b	a	b	b	a	a	a	b	a	a	b	b	a	b	a	b	a	b	a	a	a	a	a	b
C. chiloluteelli	a	b	a	a	b	b	b	b	a	b	a	a	b	a	a	a	a	b	b	a	b	a	a	b
C. hanshouensis	a	b	a	a	b	b	b	b	a	b	a	a	b	a	a	a	b	a	b	a	b	a	a	b
C. chilonis	a	b	b	a	a	b	b	a	a	b	b	a	b	b	a	a	b	a	b	a	b	a	a	c
C. sesamiae	a	b	b	a	b	b	b	b	a	b	b	a	b	b	a	a	b	a	b	a	b	a	a	c
C. flavipes	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a	b	b	b	a	b	b	b	b	a	b	b	a

注 Notes：以螟蛉盘绒茧蜂 *C. ruficrus*、粘虫盘绒茧蜂 *C. kariyai* 和粉蝶盘绒茧蜂 *C. glomerata* 为外群 Using *C. ruficrus*, *C. kariyai* and *C. glomerata* as outgroup.

表 5 使用近缘属作外群的螟黄足绒茧蜂复合群及外群性状论证结果

Table 5 Results of character argumentation of *Cotesia flavipes* complex and outgroup using the related genera as outgroup

分类单元 Taxa	性状编码 Character coding																								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
外群 Outgroup																									
Microplitis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Diolcogaster	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
内群 Ingroup																									
C. chiloluteelli	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1
C. hanshouensis	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	2	1	0	1	1	0	0	1
C. chilonis	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	2	1	1	0	1	1	0	0	2
C. sesamiae	1	1	0	1	2	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	2	1	1	0	1	1	0	0	2
C. flavipes	1	1	0	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0	1	1	0
C. ruficrus	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
C. kariyai	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
C. glomerata	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1

注 Notes：以侧沟茧蜂 *Microplitis* 和荻茧蜂 *Diolcogaster* 为外群 Using *Microplitis* and *Diolcogaster* as outgroup.

表 6　使用同属种作外群的螟黄足绒茧蜂复合群性状论证结果

Table 6　Results of character argumentation of *Cotesia flavipes* complex and outgroup using the congeneric species as outgroup

分类单元 Taxa	性状编码 Character coding																							
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
外群 Outgroup																								
C. ruficrus	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
C. kariyai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. glomerata	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
内群 Ingroup																								
C. chiloluteelli	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
C. hanshouensis	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
C. chilonis	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2
C. sesamiae	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2
C. flavipes	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1

注 Notes：以螟蛉盘绒茧蜂 *C. ruficrus*、粘虫盘绒茧蜂 *C. kariyai* 和粉蝶盘绒茧蜂 *C. glomerata* 为外群 Using *C. ruficrus*, *C. kariyai* and *C. glomerata* as outgroup.

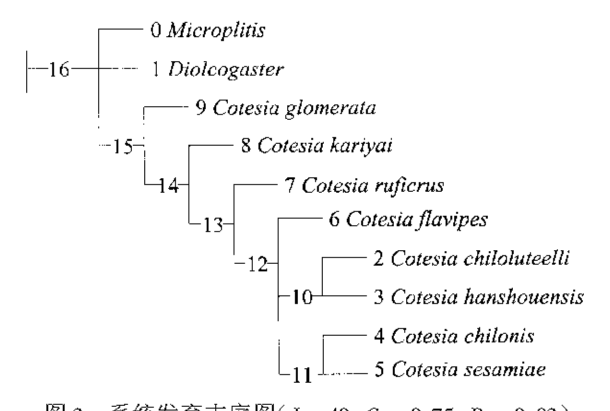


图 3　系统发育支序图（$L = 40$，$C_i = 0.75$，$R_i = 0.83$）

Fig. 3　Phylogenetic cladogram（$L = 40$，$C_i = 0.75$，$R_i = 0.83$）

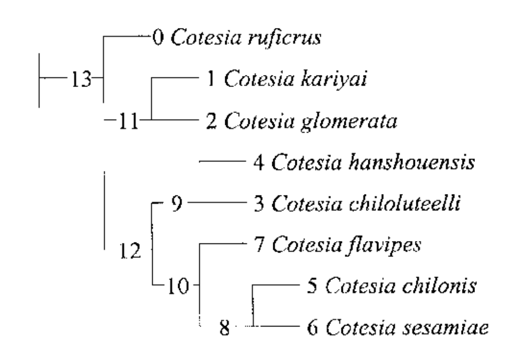


图 4　系统发育支序图（$L = 31$，$C_i = 0.80$，$R_i = 0.80$）

Fig. 4　Phylogenetic cladogram（$L = 31$，$C_i = 0.80$，$R_i = 0.80$）

3　讨论

当以载侧沟茧蜂和斑螟荻茧蜂作外群时，得图1～3。从图1～3可以看出，所有支序图的基本结构特点是一致的，即螟黄足盘绒茧蜂复合群构成一个单系群，在螟黄足盘绒茧蜂复合群内，大螟盘绒茧蜂与二化螟盘绒茧蜂近缘，表明它们具有共同的假想祖先；芦螟盘绒茧蜂与汉寿盘绒茧蜂近缘，也具有共同的假想祖先；螟黄足盘绒茧蜂相对独立。不同点在于螟黄足盘绒茧蜂复合群内三个分支的相对位置不同。也就是说，三个支序图对螟黄足盘绒茧蜂复合群系统发育关系的解释不一样。但从图3（合意树）可以看出，螟黄足盘绒茧蜂在该复合群中是比较原始的类群。至于芦螟盘绒茧蜂/汉寿盘绒茧蜂组合与大螟盘绒茧蜂/二化螟盘绒茧蜂组合哪个组合更为进化的问题，从合意树上反映不出来。当以螟蛉盘绒茧蜂、粘虫盘绒茧蜂和粉蝶盘绒茧蜂作外群时，我们用同样的方法对其进行支序分析，所得支序图如图4。在图4中，进一步明确了螟黄足盘绒茧蜂复合群内各个种之间的亲缘关系，即大螟盘绒茧蜂与二化螟盘绒茧蜂近缘，并与螟黄足盘绒茧蜂构成一单系，而芦螟盘绒茧蜂与汉寿盘绒茧蜂近缘，最后明确螟黄足盘绒茧蜂复合群为单系群。这进一步证明了以荻茧蜂属 *Diolcogaster* 和侧沟茧蜂属 *Microplitis* 作外群进行支序分析时所推断的结果。此外，从合意支序图3～4还可以看出，螟黄足盘绒茧蜂复合群的5个种较之其同属的粘虫盘绒茧蜂、粉蝶盘绒茧蜂和螟蛉盘绒茧蜂要进化，主要是此复合群具有如下共近裔性状：头部发达，立方形，雌蜂触角粗短，胸部、腹部极度扁平，适合于钻入寄生钻蛀禾本科作物的鳞翅目幼虫。

Polaszek 和 Walker（1991）及 Kimani-Njogu 等（1997）分别研究螟黄足盘绒茧蜂复合群 3 个种的雄性外生殖器特征后均认为，可以把此复合群分为两个形态学种（morphospecies），螟黄足盘绒茧蜂为一类，大螟盘绒茧蜂/二化螟盘绒茧蜂为一类。Kimani 和 Overholt（1995）作的交尾试验是将螟黄足盘绒茧蜂♂性和二化螟盘绒茧蜂及大螟盘绒茧蜂♀性交尾，后代均无♀性；大螟盘绒茧蜂♂性和二化螟盘绒茧蜂♀性交尾，后代有♀性；杂种后代♀性和双亲的♂性杂交，可得♀性后代。他们对这一现象作如下解释：认为在试验条件下会发生基因交流，但由于种群的分布不重叠，在自然界不会发生此种基因交流情况。他们祈望生物化学分析方法有助于进一步弄清这个情况。Smith 和 Kambhampati（1999）进行了螟黄足盘绒茧蜂复合群内 3 个种的线粒体 16S 核糖体 rRNA 和 NADH 1 脱氢酶基因序列研究，其支序图表明该复合群为一单系群，二化螟盘绒茧蜂和大螟盘绒茧蜂亲缘关系相近，又认为虽然这两个种仅有 1%的序列趋异差别（sequence divergence），仍然是两个独立的种。我们的支序图研究结果支持 Smith 和 Kambhampati（1999）的观点，并进一步明确了该复合群内 5 个种之间的亲缘关系。

以上的研究表明，以近缘属作外群，所得结果基本上能反映各分类单元之间的分类地位，但以同属的螟蛉盘绒茧蜂、粘虫盘绒茧蜂和粉蝶盘绒茧蜂作外群时，所反映的信息更为精确，结果也较惟一。例如从图 4 就看出螟黄足盘绒茧蜂复合群为一单系群。因此在进行种级分类单元的研究中，原则上选择同属近缘种作为外群是比较合理的，但选择近缘属作外群也有可取之处，因为适当放大系统发育进化的历程，有利于明确进化的方向。实践中两种方法都可以使用，互为补充。

致谢 中南林学院魏美才博士指导支序分析，提供 Hennig86（1.5 版）程序包；英国昆虫研究所 A.K. Walker 女士赠送大螟盘绒茧蜂标本及雄性外生殖器玻片标本；美国农业部 P. Marsh 博士鉴定斑螟荻茧蜂；匈牙利自然历史博物馆 J. Papp 博士赠送已鉴定的载侧沟茧蜂标本，一并致谢。

参 考 文 献（References）

Huang DW，1996. An Introduction to Cladistics. Beijing: China Agriculture Press. 189 pp.［黄大卫，1996. 支序系统学概论. 北京：农业出版社. 189 页］

Kimani SW，Overholt WA，1995. Biosystematics of the *Cotesia flavipes* complex (Hymenoptera: Braconidae): Interspecific hybridization, sex pheromone and mating behavior studies. *Bull. Ent. Res.*，85：379－386.

Kimani-Njogu SW，Overholt WA，Woolley J，Walker A，1997. Biosystematics of the *Cotesia flavipes* species complex (Hymenoptera: Braconidae): Morphometrics of selected allopatric populations. *Bull. Ent. Res.*，87：61－66.

Maddison WP，Donoghue MJ，Maddison DR，1984. Outgroup analysis and parsimony. *Syst. Zool.*，33：83－103.

Polaszek A，Walker AK，1991. The *Cotesia flavipes* species-complex: parasitoids of cereal stem borers in the tropics. *Redia*，74：335－341.

Smith PT，Kambhampati S，1999. Status of the *Cotesia flavipes* species complex (Braconidae: Microgastrinae) based on mitochondrial 16S rRNA and NADH1 dehydrogenate gene sequence. *J. Kan. Ent. Soc.*，72：306－314.

Ullyett GC，1935. Notes on *Apanteles sesamiae* Cam.，parasite of the maize stalk-borer (*Busseola fusca* Fuller) in South Africa. *Bull. Ent. Res.*，26：253－262.

Walker AK，1994. Species of Microgastrinae (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing lepidopterous cereal stem borers in Africa. *Bull. Entomol. Res.*，84：421－434.

Watanabe C，1965. Notes on the *Apanteles flavipes* complex (Hymenoptera: Braconidae). *Mushi*，38（13）：111－116.

You LS，Xiong SL，1983. Two new species of *Apanteles* Foerster from China (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae). *Entomotaxonomia*，5（3）：225－229.［游兰韶，熊漱琳，1983. 中国绒茧蜂属两新种记述. 昆虫分类学报，5（3）：225－229］

You LS，Xiong SL，Wang ZD，1985. A new species of *Apanteles* Foerster from China (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae). *Acta Zootaxonomica Sinica*，10（4）：421－423.［游兰韶，熊漱琳，王宗典，1985. 中国绒茧蜂属一新种（膜翅目：茧蜂科）. 动物分类学报，10（4）：421－423］

（责任编辑：袁德成）